

**PENGGUNAAN KAEDAH PENGIMEJAN
RESISTIVITI 2-D DAN SEISMIK BIASAN
DALAM KAJIAN SUBPERMUKAAN UNTUK
KEJURUTERAAN AWAM**

ZURIATI BINTI JUSOH

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2010

**PENGGUNAAN KAEDAH PENGIMEJAN RESISTIVITI 2-D
DAN SEISMIK BIASAN DALAM KAJIAN SUBPERMUKAAN
UNTUK KEJURUTERAAN AWAM**

oleh

ZURIATI BINTI JUSOH

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

April 2010

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, saya bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan izin-Nya saya dapat menyiapkan laporan projek ijazah ini yang bertajuk Penggunaan kaedah geofizik dalam kajian kejuruteraan dan persekitaraan.

Pertama sekali segala penghargaan dan jutaan terima kasih saya ucapkan kepada penyelia utama projek Prof. Madya Dr. Mohd Nawawi bin Mohd Nordin yang banyak memberikan bimbingan dan tunjuk ajar kepada saya dari mula projek dijalankan sehingga laporan projek ini disiapkan. Jutaan terima kasih juga saya ucapkan kepada penyelia kedua Dr. Rosli bin Saad kerana tidak jemu berkongsi ilmu pengetahuan dan menyokong saya untuk terus berjaya.

Ucapan terima kasih juga kepada semua staf makmal geofizik iaitu Encik Low Weng Leng, Encik Yaakob bin Othman, Encik Shaiful Mahathir bin Ismail, Encik Shahil bin Ahmad Khosaini dan Encik Zainul Abidin bin Ismail yang telah banyak memberi bantuan dan sokongan dari segi masa serta tenaga dalam menjayakan projek ini. Penghargaan saya juga kepada:

1. Uda Land (North) Sdn Bhd kerana menyediakan laporan lubang bor di Tanjung Tokong.
2. Kejuruteraan Kajigali Alam kerana menyediakan laporan lubang bor di Gunung Keriang.
3. Haji Fisol bin Ansar dari Jabatan Mineral dan Geosains Ipoh kerana turut membantu semasa pengambilan data di Gunung Keriang, Kedah

Terima kasih juga kepada rakan-rakan iaitu Nordiana binti Mohd Muztaza, Sarmiza binti Mohamed Sapiai, Shyeh Sahibul Karamah bin Masnan, Nur Azwin binti Ismail, Noer El Hidayah binti Ismail, Faizan Akasyah bin Ghazali, Muhammad Izzuljad bin Ahmad Fuad dan Nik Nur Halim bin Che Soh kerana berkongsi idea dan sentiasa

bersedia menghulurkan bantuan. Terima kasih juga kepada mana-mana pihak yang terlibat secara langsung dan tidak langsung bagi menjayakan projek ini.

Akhir sekali ucapan terima kasih di atas berkat doa dan segala sokongan dari segi moral dan kewangan yang diberikan oleh ahli keluarga terutama ibu Fatimah Zarah binti Mohd Salleh, ayah Jusoh bin Mat El, adik-beradik Zurina, Mohd Fadhli dan Zuraini serta teman baik Abdul Aziz bin Hamzah.

ISI KANDUNGAN

Penghargaan	ii
Isi Kandungan	iv
Senarai Jadual	viii
Senarai Rajah	ix
Senarai Singkatan	xii
Senarai Simbol	xiv
Abstrak	xvi
Abstract	xviii

BAB 1 – PENGENALAN

1.1 Latar belakang	1
1.2 Pernyataan masalah kajian	2
1.3 Masalah kejuruteraan	2
1.4 Masalah-masalah persekitaran	4
1.5 Kajian terdahulu	14
1.6 Kepentingan kajian	19
1.7 Objektif kajian	20
1.8 Ketulenan kajian	20
1.9 Skop penyelidikan	21
1.10 Susunan tesis	21
1.11 Ringkasan	22

BAB 2 – KAJIAN KESUSTERAAN

2.1 Pengenalan	23
2.2 Resistiviti 2-Dimensi (2-D).....	23

2.2.1	Prinsip am	25
2.2.2	Pengukuran resistiviti	29
2.2.3	Prinsip pengukuran resistiviti 2-D	34
2.2.4	Kaedah 'roll-along'	35
2.2.5	Faktor-faktor yang mempengaruhi resistiviti bahan bumi	36
2.2.6	Protokol	39
2.3	Seismik biasan	42
2.3.1	Prinsip am	43
2.3.2	Gelombang seismos	44
2.3.3	Pergerakan gelombang	48
2.3.4	Kes subpermukaan homogen	50
2.3.5	Kes bagi sempadan subpermukaan tunggal (2 lapisan)	51
2.3.6	Kes dua sempadan mendatar (3 lapisan)	54
2.3.7	Kes sempadan miring	57
2.4	Ringkasan	59

BAB 3 - KAWASAN KAJIAN DAN PEROLEHAN DATA

3.1	Pengenalan	60
3.2	Kawasan kajian pertama: Tanjung Tokong, Pulau Pinang	60
3.2.1	Lokasi kawasan Tanjung Tokong	61
3.2.2	Geologi Pulau Pinang	62
3.3	Kawasan kajian kedua: Gunung Keriang, Kedah	64
3.3.1	Lokasi kawasan Gunung Keriang	65
3.3.2	Geologi Kedah	66
3.4	Peralatan	68

3.5	Perolehan data resistiviti 2-D	71
3.6	Perolehan data seismik biasan	77
3.7	Kaedah lubang bor	77
3.8	Pemprosesan data	78
3.8.1	Resistiviti 2-D	78
3.8.2	Seismik biasan	79
3.9	Ringkasan	82

BAB 4 – KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	Pengenalan	83
4.1	Tanjung Tokong	83
4.2	Gunung Keriang	89
4.3	Ringkasan	93

BAB 5 – KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1	Pengenalan	97
5.2	Kesimpulan	97
5.3	Cadangan	98

RUJUKAN	100
---------------	-----

LAMPIRAN

Lampiran A: Senarai alatan yang digunakan untuk kaedah resistiviti 2-D dan seismik biasan

Lampiran B: Rekod lubang bor di barat Tanjung Tokong, Pulau Pinang

Lampiran C: Keratan pseudo resistiviti 2-D (Garis tinjauan K2 hingga K10 di Tanjung Tokong)

Lampiran D: Keratan pseudo resistiviti 2-D (Garis tinjauan G1 hingga G17
di Gunung Keriang)

Lampiran E: Foto

Lampiran F: Kertas-kertas yang diterbitkan

SENARAI JADUAL

Muka surat

Jadual 2.1	Resistiviti bahan-bahan dalam bumi	37
Jadual 2.2	Halaju gelombang P apabila melalui bahan-bahan tertentu	46
Jadual 3.1	Klasifikasi jenis jasad granit Pulau Pinang	63
Jadual 4.1	Profil tanah beserta kedalaman lubang bor di Tanjung Tokong	84
Jadual 4.2	Profil tanah beserta kedalaman lubang bor di Gunung Keriang	90
Jadual 4.3	Keputusan dan perbincangan di Tanjung Tokong	95
Jadual 4.4	Keputusan dan perbincangan di Gunung Keriang	96

SENARAI RAJAH

		Muka surat
Rajah 1.1	Penanaman cerucuk pada batu tongkol	3
Rajah 1.2	Geomorfologi batu kapur	5
Rajah 1.3	Proses pembentukan rongga hingga lubang benam	8
Rajah 1.4	Discas air tanah dan terjahan air laut pada sempadan akuifer-estuari semasa kitaran pasang-surut: (A) pasang tinggi; (B) pasang sederhana; (C) surut	11
Rajah 1.5	Pembentukan resapan air masin	12
Rajah 1.6	Penghasilan garam oleh tindakan kapilari dan penyejatan	13
Rajah 2.1	Tiga model berbeza yang digunakan dalam pentafsiran ukuran resistiviti	24
Rajah 2.2	Model 1-D yang digunakan dalam pentafsiran data duga dalam untuk susunatur Wenner	24
Rajah 2.3	Asas kajian kerintangan	27
Rajah 2.4	Hubungan antara rintangan, luas dan panjang	28
Rajah 2.5	Corak pengaliran arus dan keupayaan	29
Rajah 2.6	Konfigurasi geometri empat elektrod	30
Rajah 2.7	Susunatur elektrod yang selalu digunakan dengan faktor geometri masing-masing	32
Rajah 2.8	Susunan elektrod untuk tinjauan resistiviti dua dimensi dengan susunatur Wenner untuk menghasilkan model pseudo	35
Rajah 2.9	Kaedah 'roll along' jenis 'roll-up' dengan susunatur Pole-dipole	36
Rajah 2.10	Corak kepekaan untuk susunatur (a) Wenner (b) Wenner-Schlumberger (c) Dipole-dipole (d) Pole-pole	40
Rajah 2.11	Susunatur Pole-dipole	41
Rajah 2.12	Susunatur Pole-dipole dengan susunan normal dan songsang	41
Rajah 2.13	Geometri tenaga seismik yang dikesan oleh geofon	44
Rajah 2.14	Arah perambatan gelombang P	45

Rajah 2.15	Arah perambatan gelombang S	47
Rajah 2.16	Arah perambatan gelombang Love	47
Rajah 2.17	Arah perambatan gelombang Rayleigh	48
Rajah 2.18	Penggunaan prinsip Huygen untuk menghasilkan muka gelombang baru	49
Rajah 2.19	Gelombang mematuhi hukum Snell	50
Rajah 2.20	Laluan sinar dalam bahan homogen	51
Rajah 2.21	Laluan sinar biasan pada sempadan subpermukaan tunggal	52
Rajah 2.22	Graf masa perjalanan bagi kes subpermukaan tunggal	53
Rajah 2.23	Laluan sinar biasan pada dua sempadan mendatar	55
Rajah 2.24	Graf masa perjalanan bagi kes dua sempadan mendatar	56
Rajah 2.25	Laluan sinar biasan pada sempadan miring	58
Rajah 3.1	Lokasi kawasan kajian Tanjung Tokong, Pulau Pinang	61
Rajah 3.2	Peta geologi Pulau Pinang yang diubahsuai daripada Ong, 1993	62
Rajah 3.3	Peta geologi Pulau Pinang	64
Rajah 3.4	Lokasi Gunung Keriang, Kedah	65
Rajah 3.5	Peta geologi Pulau Pinang, Kedah dan Perlis	68
Rajah 3.6	Struktur binaan dalaman geofon	71
Rajah 3.7	Susunan menggunakan empat kabel	72
Rajah 3.8	Susunan menggunakan dua kabel	72
Rajah 3.9	Peta tapak kajian di Tanjung Tokong beserta garis tinjauan	75
Rajah 3.10	Kawasan kajian di Gunung Keriang beserta garis tinjauan dan lubang bor BH1	76
Rajah 3.11	Contoh penghasilan keratan pseudo	79
Rajah 3.12	Pemilihan masa ketibaan pertama pada gelombang seismik	80
Rajah 3.13	Graf masa ketibaan pertama melawan jarak geofon	81
Rajah 3.14	Carta aliran pemprosesan data	81

Rajah 4.1	Keratan pseudo bagi garisan tinjauan K1 di Tanjung Tokong	85
Rajah 4.2	Keratan pseudo bagi garisan tinjauan K9 di Tanjung Tokong	87
Rajah 4.3	Keratan pseudo bagi garisan tinjauan K10 di Tanjung Tokong	88
Rajah 4.4	Keratan seismik bagi garis tinjauan K9 di Tanjung Tokong	88
Rajah 4.5	Tindihan imej resistiviti (K9) dengan keputusan seismik	89
Rajah 4.6	Rekod lubang bor BH1 di Gunung Keriang, Kedah	91
Rajah 4.7	Keratan pseudo bagi garis tinjauan G9 di Gunung Keriang	92

SENARAI SINGKATAN

1-D	1 dimensi
2-D	2 dimensi
3-D	3 dimensi
‘Pinnacle’	Hujung puncak tajam
Mogote	Bukit batu kapur dengan struktur seperti menara
SPT	Standard Penetration Test
TDEM	Elektromagnetik frekuensi rendah
GPR	Radar penusukan bumi
EM	Elektromagnet
MHz	Megahertz
Hz	Hertz
ERT	Tomografi resistiviti elektrik
DC	Arus terus
C1	Elektrod arus pertama
C2	Elektrod arus kedua
P1	Elektrod keupayaan pertama
P2	Elektrod keupayaan kedua
Ωm	Ohmmeter
SV	Komponen mendatar
SH	Komponen menegak
AB	Muka gelombang
A'B'	Muka gelombang baru
EM	Jarak titik dari E ke M
MN	Jarak titik dari M ke N
NG	Jarak dari titik N ke G

EP	Jarak titik dari E ke P
PR	Jarak titik dari P ke R
RS	Jarak dari titik R ke S
SQ	Jarak dari titik S ke Q
QG	Jarak dari titik Q ke G
km	Kilometer
cm	Sentimeter
mm	Millimeter
mg/L	Milligram per liter
SAS	Signal Averaging System
EBA	External Battery Adapter
ES	Electrode Selector
mA	miliAmpere
kg	kilogram
m	meter
°C	Celsius
μs	Mikro saat
RMS	Ralat gandaan dua

SENARAI SIMBOL

V	Keupayaan
R	Rintangan
I	Arus
J	Ketumpatan arus
E	Medan elektrik
σ	Konduktiviti medium
Φ	Medan keupayaan
Δ	Perbezaan
L	Panjang
A	Luas
ρ	Resistiviti/Ketumpatan
r_1	Jarak elektrod P_1 dari C_1
r_3	Jarak elektrod P_1 dari C_2
r_4	Jarak elektrod P_2 dari C_1
r_2	Jarak elektrod P_2 dari C_2
k	Faktor geometri / Modulus pukal
V_1	Halaju lapisan pertama/keupayaan pertama
V_2	Halaju lapisan kedua/keupayaan kedua
V_3	Halaju lapisan ketiga
V_p	Halaju gelombang P
V_s	Halaju gelombang S
ρ_a	Kerintangan ketara
μ	Modulus regangan
Δt	Sela masa
t_0	Masa pada $t = 0$

T	Jumlah masa perjalanan
θ_1/ θ_i	Sudut tuju
θ_2	Sudut pantulan
θ_3	Sudut bias
θ_c	Sudut genting
θ_{ic}	Sudut tuju kritikal
h_1	Ketebalan lapisan pertama
h_2	Ketebalan lapisan kedua
h_3	Ketebalan lapisan ketiga
t_i	Masa pintasan
t_{i2}	Masa pintasan kedua
x	Jarak ketukan ke pengesan
x_c	Jarak genting
x_{c2}	Jarak genting kedua
t_u	Masa perjalanan bagi sempadan miring ke atas
t_d	Masa perjalanan bagi sempadan miring ke bawah
j_u	Jarak seranjang bagi miring ke atas
j_d	Jarak seranjang bagi miring ke bawah
h_u	Ketebalan miring ke atas
h_d	Ketebalan miring ke bawah
β	Sudut miring
t_{iu}	Masa pintasan miring ke atas
t_{id}	Masa pintasan miring ke bawah

**PENGUNAAN KAEDAH PENGIMEJAN RESISTIVITI 2-D DAN SEISMIK
BIASAN DALAM KAJIAN SUBPERMUKAAN UNTUK KEJURUTERAAN
AWAM**

ABSTRAK

Pembinaan di tanah tambak boleh menimbulkan masalah dalam penanaman cerucuk seperti patah dan bengkok apabila ditanam di atas batu tongkol. Terjahan air masin pula boleh melemahkan struktur konkrit dan menyebabkan retakan pada bangunan manakala kawasan batu kapur boleh mengakibatkan pelbagai masalah geoteknikal seperti runtuh dan penenggelaman bangunan. Kajian geofizik telah dijalankan di Tanjung Tokong, Pulau Pinang dan Gunung Keriang, Kedah. Objektif kajian di Tanjung Tokong ialah untuk mendapatkan maklumat subpermukaan seperti kedalaman batuan dasar, batu tongkol, struktur subpermukaan dan terjahan air masin dengan menggunakan kaedah resistiviti 2-D dan seismik biasan. Kajian di Gunung Keriang pula bertujuan mengesan rongga, 'pinnacle' dan rekahan yang terbentuk di kawasan batu kapur dengan menggunakan kaedah resistiviti 2-D. Keputusan setiap kaedah geofizik dihubungkan antara satu sama lain dan bersama rekod lubang bor. Di kawasan Tanjung Tokong, keputusan resistiviti 2-D dan seismik biasan menunjukkan subpermukaan terdiri daripada dua lapisan. Lapisan pertama ialah tanah tambak berketebalan 5 hingga 7 meter dari permukaan dan mempunyai halaju antara 500 hingga 669 m/s. Tanah tambak ini mengandungi lempung berpasir perang kekelabuan dan kerikil dengan nilai resistiviti sederhana ($3 - 20 \Omega\text{m}$) dan bercampur dengan batu tongkol yang berserakan dalam pelbagai saiz dengan nilai resistiviti tinggi ($>20 \Omega\text{m}$).

Kandungan ini merujuk kepada profil tanah lubang bor di kawasan berhampiran pada kedalaman sehingga 10 meter. Lapisan kedua ialah zon tepu pada kedalaman melebihi 7 meter dan mempunyai halaju antara 1489 hingga 1837 m/s. Zon tepu ini mempunyai nilai resistiviti rendah ($< 3 \Omega\text{m}$) dan halaju yang lebih tinggi akibat terjahan air masin. Selain itu, batuan dasar granit dengan nilai resistiviti tinggi ($>20 \Omega\text{m}$) dikesan pada kedalaman 17 hingga 39 meter. Kedalaman ini dihubungkan dengan kedalaman batuan dasar granit dalam rekod lubang bor iaitu antara 21 hingga 39 meter. Di kawasan Gunung Keriang, keputusan resistiviti 2-D menunjukkan subpermukaan terdiri daripada dua lapisan. Lapisan pertama ialah tanah aluvium berketebalan 5 hingga 10 meter dari permukaan. Tanah aluvium ini mengandungi lempung berlodak kelabu gelap dan kerikil dengan nilai resistiviti sederhana ($10 - 800 \Omega\text{m}$) dan bercampur dengan batu tongkol dengan nilai resistiviti tinggi ($> 1000 \Omega\text{m}$). Kandungan ini merujuk kepada profil tanah lubang bor di garis tinjauan G9 dan pada kedalaman sehingga 7 meter. Lapisan kedua ialah zon tepu pada kedalaman melebihi 10 meter dengan nilai resistiviti rendah ($< 10 \Omega\text{m}$) kerana mengandungi air yang bercampur dengan bahan kimia dan mengalami terjahan air masin. Selain itu, terdapat batuan dasar batu kapur yang ditemui tersingkap dan sehingga kedalaman 70 meter. Batuan dasar ini membentuk rongga dan 'pinnacle' pada kedalaman 5 hingga 70 meter dengan nilai resistiviti melebihi $50 \Omega\text{m}$. Kesimpulannya, kaedah resistiviti 2-D dan seismik biasan merupakan kaedah yang sesuai untuk menentukan profil subpermukaan bagi kejuruteraan awam yang disokong oleh maklumat lubang bor.

APPLICATION OF 2-D RESISTIVITY IMAGING AND SEISMIC REFRACTION TECHNIQUE IN SUBSURFACE INVESTIGATION FOR CIVIL ENGINEERING

ABSTRACT

Construction at reclaimed land can pose problem such as broken and bended to the steel piles during piling in foundation works. Saltwater intrusion can weaken the concrete structure and cause crack to the building while limestone area cause many geotechnical problems such as collapse and settlement of a building. The geophysical studies were conducted at Tanjung Tokong, Penang and Gunung Keriang, Kedah. The study at Tanjung Tokong is aimed to obtain subsurface information which include the depth of bedrock, boulders, subsurface structures and saltwater intrusion by using 2-D resistivity and seismic refraction method. Whereas the objective of study at Gunung Keriang is to detect cavities, pinnacles and fractures in limestone area by using 2-D resistivity method. The result from each geophysics method were correlated each other together with borehole record. At Tanjung Tokong area, the 2-D resistivity and seismic refraction result shows the subsurface is consist of two layers. The first layer is reclaimed soils with thickness 5 to 7 meter from surface and has velocity between 500 - 669 m/s. The reclaimed soils are generally made up of greyish brown sandy clay and gravel with medium resistivity value (3 - 20 Ωm) and mix up with scattered boulders of various sizes with high resistivity value ($> 20 \Omega\text{m}$). The content of reclaimed soils is based on nearby borehole profile up to 10 meter depth. The second layer is saturated zone at depth over 7 meter and has velocity between 1489 - 1837 m/s. The saturated zone has low resistivity value ($< 3 \Omega\text{m}$) and the higher velocity is due to saltwater

intrusion. Granite bedrock with high resistivity value ($> 20 \Omega\text{m}$) was detected beneath 17 to 39 meter depth. The depth was correlated with granite bedrock in borehole record beneath 21 to 39 meter depth. Gunung Keriang area, 2-D resistivity result shows the subsurface is consist of two layers. The first layer is alluvium soils with thickness 5 to 10 meter from surface. The alluvium soils consist of dark grey silty clay and gravel with medium resistivity ($10 - 800 \Omega\text{m}$) and mix up with boulder with high resistivity ($> 1000 \Omega\text{m}$). The content is referring to borehole profile near resistivity line G9 and at up to 7 meter depth. The second layer is saturated zone at depth over 10 meter with low resistivity ($< 10 \Omega\text{m}$) due to mixture of chemical substances in the water and saltwater intrusion. The limestone bedrock was detected from surface (outcrop) to 70 meter. The bedrock form cavities and pinnacle at depth 5 to 70 meter with resistivity over $50 \Omega\text{m}$. As a conclusion, the 2-D resistivity and seismic refraction are suitable technique to determine subsurface profile for civil engineering and supported by borehole information.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Latar belakang

Malaysia merupakan sebuah negara yang pesat membangun. Oleh itu, Malaysia mengalami evolusi yang cukup hebat dalam usaha membangunkan infrastruktur bagi menjana kepesatan perkembangan ekonomi. Antara infrastruktur yang dibangunkan ialah perumahan, bangunan kedai, pusat membeli-belah dan jalan raya. Pembangunan infrastruktur ini memerlukan penggunaan tanah yang luas. Namun, negeri yang berkeluasan kecil seperti Pulau Pinang tidak mempunyai tanah yang cukup untuk pembangunan infrastruktur tersebut. Penambakan tanah dari laut memainkan peranan penting bagi menyediakan kawasan untuk pembangunan. Apabila teknologi pembinaan bertambah maju, lebih banyak kawasan pantai ditambak. Kebiasaannya, tanah ditambak dengan menambahkan batu tongkol dan pasir. Tetapi terdapat juga kawasan-kawasan tambakan yang tidak diketahui bahan-bahan yang ditambak. Batu tongkol dan bahan-bahan tambak yang tidak diketahui ini boleh menimbulkan masalah kejuruteraan. Selain kehadiran batu tongkol dan bahan-bahan tambak yang tidak diketahui, terjahan air masin sering menimbulkan masalah persekitaran pada kawasan tambakan di tepi pantai.

Malaysia mempunyai banyak kawasan batu kapur. Di Semenanjung Malaysia, batu kapur banyak terdapat di Kedah, Perlis, Pahang, Selangor (Lembah Klang), Perak (Lembah Kinta) dan Kelantan (Gua Musang). Batu kapur di negeri-negeri tersebut membentuk tebing yang sangat curam dan batuan dasar yang meluas. Sabah dan Sarawak juga mempunyai pembentukan batu kapur dan berlaku dalam

pelbagai bentuk seperti bukit batu kapur dan batuan dasar (Tan, 2002). Tindak balas kimia yang berlaku pada batu kapur menghasilkan ciri-ciri kars seperti rongga, 'pinnacle' dan cerun curam yang boleh menimbulkan masalah kejuruteraan dan persekitaran.

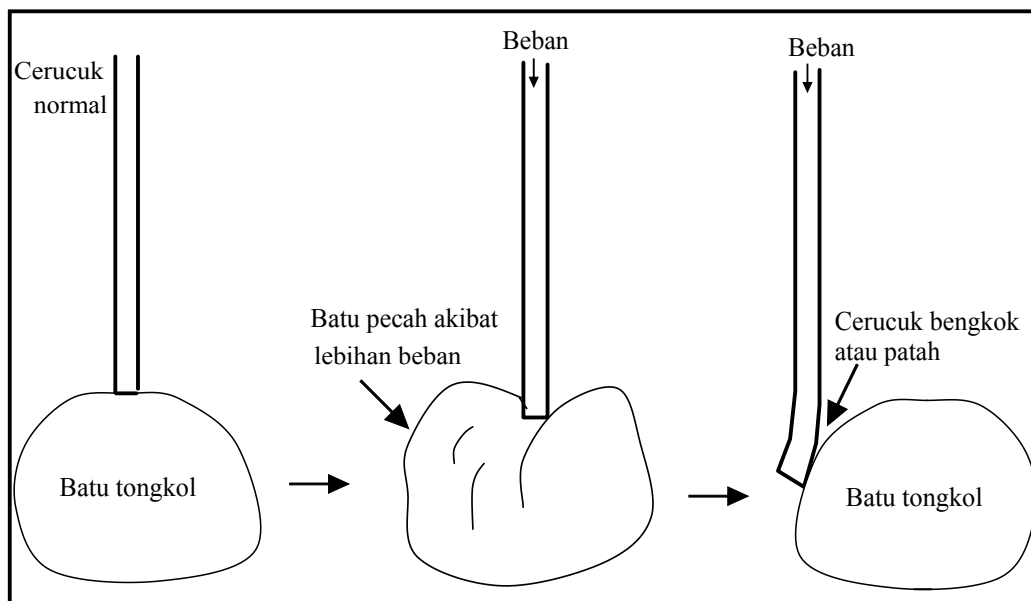
1.2 Pernyataan masalah kajian

Dalam kajian ini, masalah-masalah yang terlibat dibahagikan kepada dua bahagian iaitu masalah kejuruteraan dan masalah persekitaran. Masalah kejuruteraan melibatkan batu tongkol di kawasan tambakan yang memberi kesan pada penanaman cerucuk seperti patah dan bengkok. Selain itu, pembentukan 'pinnacle' menyebabkan penanaman cerucuk di kawasan batu kapur menjadi sukar kerana mendatangkan keraguan samada cerucuk ditanam di atas batuan dasar atau 'pinnacle'. Masalah persekitaran pula melibatkan terjahan air masin yang menyebabkan keretakan bangunan dan pembentukan rongga yang boleh mengancam nyawa dan merosakkan harta benda.

1.3 Masalah kejuruteraan

Penanaman cerucuk menghadapi masalah seperti patah dan bengkok apabila ditanam di atas batu tongkol (Rajah 1.1). Batu tongkol berasal dari proses luluhawa yang berlaku pada batuan terutamanya granit. Peluluhawaan ialah proses penghuraian batuan, mineral kepada tanah. Proses peluluhawaan terbahagi kepada dua jenis iaitu luluhawa fizikal dan kimia. Luluhawa fizikal atau mekanikal

melibatkan penguraian batuan dan tanah kepada bahagian yang lebih kecil tanpa mengalami perubahan dalam komposisi kimia. Luluhawa fizikal juga berkaitan dengan keadaan atmosfera seperti air, ais, pemanasan dan tekanan. Antara jenis-jenis luluhawa fizikal ialah pengembangan dan pengecutan, tindakan fros serta pengelupasan. Manakala luluhawa kimia pula melibatkan pemecahan batuan oleh agen-agen kimia. Agen kimia yang paling utama ialah air yang membawa pengasingan asid karbonik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kadar luluhawa kimia ialah saiz, komposisi mineral, iklim dan topografi. Iklim panas dan lembap yang terjadi di kawasan tropika akan mempercepatkan proses luluhawa. Manakala rekahan atau ketakselajaran yang terdapat pada batuan akan mempercepatkan lagi proses luluhawa dan hakisan berlaku dengan lebih cepat. Akhirnya batuan asal akan pecah dan menghasilkan batuan tongkol (Johnson dan De Graff, 1988).



Rajah 1.1: Kesan penanaman cerucuk pada batu tongkol.

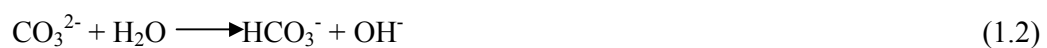
1.4 Masalah-masalah persekitaran

Pembentukan rongga merupakan masalah persekitaran yang utama di kawasan batu kapur dan lapisan batu kapur yang dilapisi oleh lapisan aluvium. Batu kapur ialah batu sedimen dengan jujuk utamanya adalah cengkerang, hablur-hablur dan mineral kalsit (CaCO_3). Hampir semua mineral karbonat dalam kebanyakan batu kapur adalah kalsit asli (melebihi 96%) atau paling kurang 40% dolomit. Tetapi batu kapur juga mempunyai bahan-bahan tidak tulen seperti lempung (ilit), pasir, besi oksida dan silika (rijang atau opal). Ahli geologi mengelaskan batu kapur mengikut asalannya iaitu biokimia, kimia dan gersik. Batu kapur biokimia (kapur) adalah hasil pengumpulan cengkerang pada lantai laut. Batu kapur kimia pula terhasil daripada pemendakan terus mineral karbonat dalam lautan tepu, tasik atau kolam air panas. Manakala batu kapur gersik menunjukkan pengangkutan dan pengumpulan cengkerang atau pecahan batu kapur yang terdahulu. Asid karbonik dihasilkan oleh pelarutan karbon dioksida di dalam air. Asid karbonik bertindak balas dengan batu kapur dan dolomit dengan mengeluarkan ion Ca^{++} dan Mg^{++} yang kemudiannya dibawa ke dalam pelarut. Pelarut akan mengambil bahagian bikarbonat (HCO_3^-). Tindakbalas yang berlaku dalam batu kapur ini ditulis sebagai persamaan 1.1 hingga 1.6 (Goodman, 1993);

Pelarutan kalsit di dalam air tulen:



Hidrolisis:



Pembentukan asid karbonik:



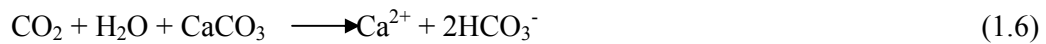
Pemisahan asid karbonik:



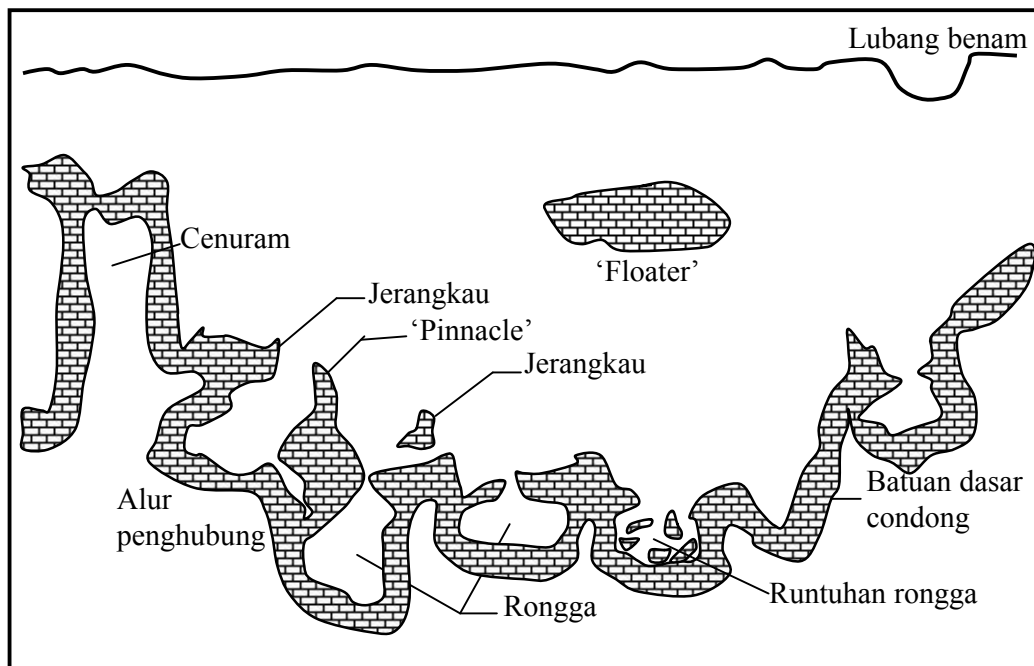
Tindakan asid dengan kalsit:



Secara ringkasnya,



Batu kapur yang hancur menghasilkan rongga, batuan dasar condong, 'pinnacle', lubang benam, jerangkau, 'floater', alur penghubung dan cenuram (Rajah 1.2).



Rajah 1.2: Geomorfologi batu kapur.

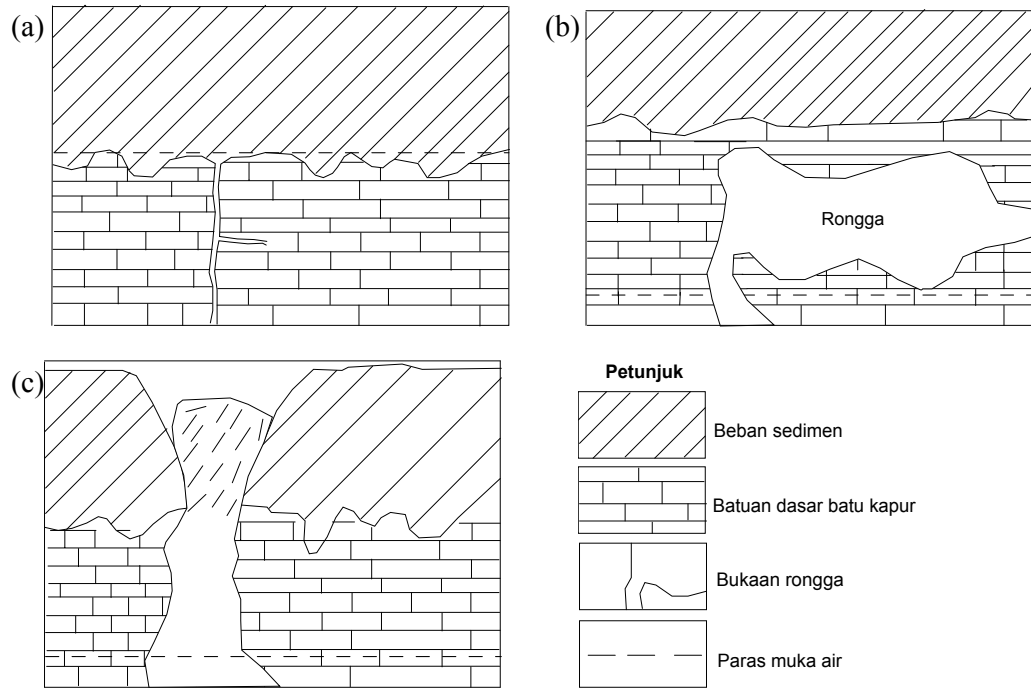
Rongga dalam batuan dasar batu kapur berlaku pada pelbagai kedalaman, saiz dan ketebalan. Suatu tinjauan saiz rongga berdasarkan rekod lubang bor di Ipoh menunjukkan kebanyakan rongga mempunyai ketebalan kurang daripada 3 meter. Ting, 1985 dan Ting et al, 1993 membuat kesimpulan bahawa kebanyakan saiz rongga kurang daripada 1 meter. Tetapi dalam sebahagian kes, rongga besar yang

lebih daripada 3 meter masih boleh dikesan di tapak tertentu (Tan, 2002). Rongga merupakan sebahagian daripada sistem pelarutan saluran. Saluran ini dihasilkan oleh proses pengaliran air bawah tanah melalui laluan tertentu seperti lapisan satah, kekar dan sesar. Apabila air bergerak ke bawah disebabkan tarikan graviti, air akan melarutkan dan membesarkan laluan-laluan tadi. Pembesaran laluan ini membenarkan lebih banyak pengaliran air berlaku dan meningkatkan kadar pelarutan batu kapur. Disebabkan laluan yang besar memindahkan lebih banyak air, ia menghakis saluran daripada batuan sekeliling dan menghasilkan rongga. Pembentukan rongga-rongga subpermukaan oleh pelarutan memerlukan;

- i. Batuan dasar yang sebahagian besarnya terdiri dari mineral-mineral hancur.
- ii. Punca air yang tidak tepu dengan mineral-mineral hancur supaya dapat melarutkan mineral-mineral tersebut.
- iii. Sumber tenaga dalam bentuk cerun hidrolik untuk menggerakkan air melalui batuan.
- iv. Setelah laluan pengaliran dibentuk di dalam batuan yang hancur, hakisan dan pelarutan yang berterusan akan membesarkan laluan tersebut dan meningkatkan pengaliran. Rongga-rongga subpermukaan mungkin menyediakan habitat untuk populasi spesis-spesis terutamanya yang sesuai dengan persekitaran gua batu kapur (ekosistem gua). Interaksi antara komuniti biologi dan mineral yang membentuk rongga-rongga mungkin meningkatkan pelarutan mineral dan membesarkan rongga melalui penghasilan asid metabolit.

Pembentukan rongga dalam batuan dasar (batu kapur) juga dikaitkan dengan perubahan paras muka air. Kebanyakan rongga terbentuk dalam zon perubahan paras

air tanah. Keadaan ini dibuktikan di kuari Bandar Sunway apabila pada kedalaman tertentu kebanyakan batuan dasar (batu kapur) tidak mempunyai rongga atau ciri-ciri pelarutan lain. Tetapi apabila menghampiri permukaan iaitu dalam zon perubahan paras muka air rongga, 'pinnacle' dan sebagainya diperhatikan. Rajah 1.3 menunjukkan proses pembentukan rongga dalam zon perubahan paras muka air hingga menjadi lubang benam. Pada peringkat pertama, paras muka air tinggi dan batu kapur mengalami proses pelarutan. Proses pelarutan ini menghasilkan rongga yang semakin membesar. Rongga yang dibentuk diisi oleh air tanah. Pada peringkat kedua penurunan paras air meninggalkan rongga kosong dan rongga menjadi tidak stabil. Pada peringkat ketiga, rongga menjadi terlalu besar sehingga tidak dapat menampung berat beban sedimen di atas dan menyebabkan runtuh di permukaan berlaku yang dikenali sebagai lubang benam. Paras muka air turun disebabkan aktiviti-aktiviti manusia di permukaan yang mengubah sistem semulajadi air tanah. Antaranya, pengepaman air bawah tanah untuk pembersihan kuari dan lombong yang tidak dikawal boleh menyebabkan penurunan paras air untuk jangka panjang dan bermusim. Selain itu, kejadian semulajadi seperti kemarau juga boleh menurunkan paras air (Tan, 2002).



Rajah 1.3: Proses pembentukan rongga hingga lubang benam: (a) Peringkat pertama; (b) Peringkat kedua; (c) Peringkat ketiga.

Pembentukan rongga juga berlaku dalam batuan evaporit seperti mendakan gipsum, anhidrit dan halit. Ia dikenali sebagai batuan evaporit kerana ia terhasil dari penyejatan laut dan tasik. Proses pembentukan rongga dalam batuan evaporit mengambil masa beberapa hari berbanding dalam batuan karbonat yang mengambil masa yang lebih lama (beberapa abad hingga ribuan tahun). Perbezaan tempoh masa pembentukan rongga dalam batuan evaporit dan karbonat disebabkan kadar tinggi penghancuran garam dan gipsum yang membenarkan rongga-rongga dibentuk. Selain itu kekuatan batuan karbonat yang tinggi menjadikannya tahan terhadap kegagalan mekanikal dan kelemahan yang progresif oleh pelarutan kimia (Galloway et al., 2005).

Rongga boleh berlaku dalam hampir kesemua batuan berkapur atau bergipsum. Dimensi dan bentuk rongga ini bergantung pada komposisi, tekstur, struktur batuan, kekuatan dan struktur geologi.

- i. Rongga-rongga yang berkumpul di dalam zon rekahan dan kekar yang rapat contohnya di sepanjang sesar dan paksi lipatan.
- ii. Jisim batu kapur yang terpisah dari batuan utama oleh tindakan sesar dan hakisan pada semua sisinya cenderung menjadi rongga berbanding jisim batu kapur yang tidak terhakis dan bercantum dengan batuan utama.
- iii. Perlapisan antara bentonit dan syal mungkin melindungi bahagian bawah batu kapur dari pelarutan. Begitu juga lapisan lempung yang melindungi lapisan gipsum atau garam dari pelarutan.
- iv. Stratigrafi nipis yang terdiri daripada gipsum, garam dan mineral sulfid mungkin menghasilkan satah perlapisan dengan rongga yang luas.
- v. Dalam batu pasir berkapur, bukaan rongga yang sempit dibentuk di sepanjang kekar.
- vi. Dolomit cenderung membentuk lubang-lubang kecil yang dikenali sebagai 'vug' tetapi ia juga boleh membentuk gua besar atau bahagian berongga.
- vii. Batu kapur dan dolomit dengan pelbagai ketulenan atau sebahagian kecil syal cenderung membentuk bukaan kecil tetapi dengan meluas di sepanjang satah perlapisan, kekar dan sesar.

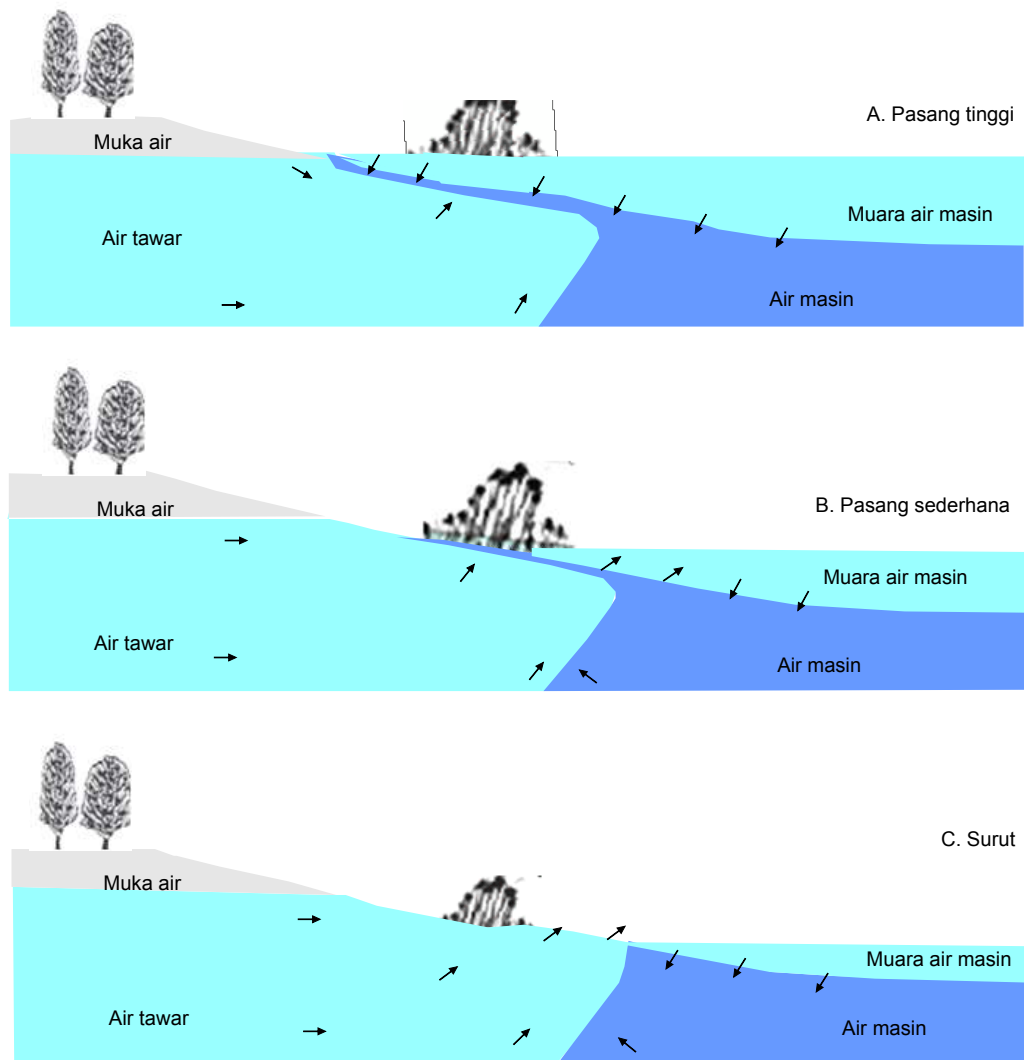
Terjahan air masin merupakan salah satu daripada masalah persekitaran di kawasan tambakan. Semua air mengandungi bahan-bahan kimia dan mineral terlarut. Apabila kepekatan bahan-bahan terlarut (garam) menjadi tinggi, air tersebut dirujuk sebagai air masin. Air tawar merupakan air yang mempunyai jumlah kepekatan

bahan terlarut yang kurang daripada 1000 mg/L, manakala air yang mempunyai jumlah kepekatan bahan terlarut melebihi 1000 mg/L merupakan air laut (air masin). Bahan-bahan terlarut yang mempunyai kepekatan paling tinggi dalam air laut ialah klorida, natrium, sulfat dan magnesium. Pada suhu 20 °C, ketumpatan air tawar ialah 1.000×10^{-6} mg/L manakala ketumpatan air masin ialah 1.025×10^{-6} mg/L. Terjahan air masin ialah pergerakan air masin ke dalam akuifer air tawar. Disebabkan air masin lebih tumpat berbanding air tawar, maka air tawar cenderung berada di atas zon air masin. Percampuran air tawar dan air masin tidak berlaku dengan begitu cepat kerana dipisahkan oleh zon transisi. Zon transisi merupakan perubahan kualiti di dalam air tanah daripada air tawar kepada air masin yang diukur oleh peningkatan bahan-bahan terlarut seperti klorida (Barlow, 2003).

Antara punca berlakunya terjahan air masin ialah pengepaman air tanah yang mengakibatkan penurunan muka air dan pengairan dari terusan. Terjahan air masin juga berlaku disebabkan tekanan hidrolik yang mengurangkan pengaliran air tawar di akuifer pantai apabila kadar cas semula air tanah di kawasan bandar berkurang. Had terjahan air masin ke dalam akuifer bergantung kepada beberapa faktor seperti kadar air tanah yang dikeluarkan berbanding jumlah air tawar yang dicas semula ke akuifer, jarak telaga atau terusan dari punca air masin, struktur geologi dan taburan sifat-sifat hidrolik akuifer serta kehadiran unit kekangan yang menghalang air masin daripada bergerak secara menegak ke arah atau di dalam akuifer.

Akuifer ialah formasi geologi yang mempunyai kapasiti untuk menyimpan dan memindahkan air bawah tanah. Apabila air mengisi sepenuhnya liang-liang di dalam akuifer yang dilapisi oleh unit kekangan, akuifer tersebut dikenali sebagai terkekang. Tetapi apabila hanya separuh liang-liang akuifer diisi air, permukaan atas yang tepu (muka air) bebas untuk menaik atau menurun dan akuifer tersebut dikenali

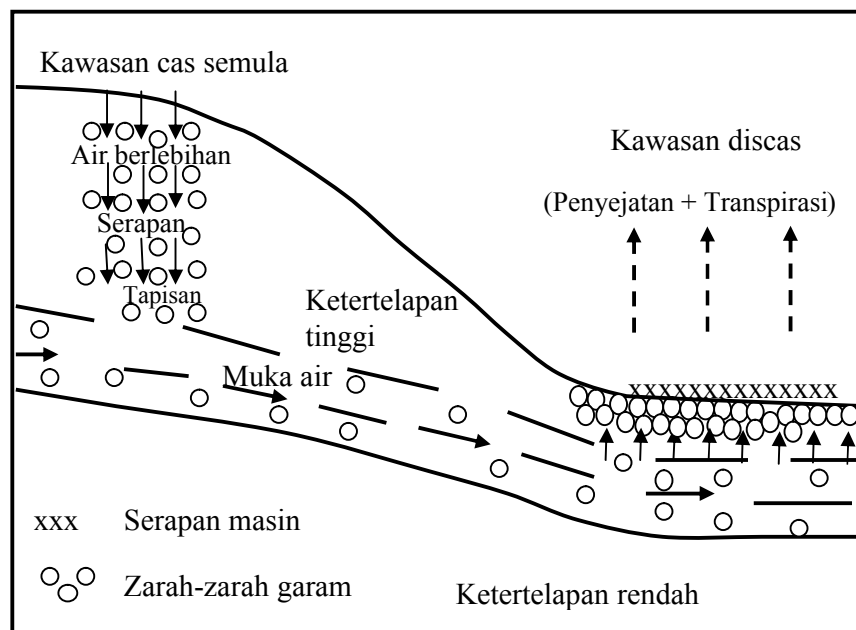
sebagai tak terkekang (Barlow, 2003). Selain itu, pasang surut air turut mempengaruhi terjahan air masin (Rajah 1.4). Apabila pasang tinggi, terjahan air masin lebih kuat berbanding discas air tawar. Manakala apabila pasang sederhana berlaku terdapat keseimbangan antara terjahan air masin dengan discas air tawar. Tetapi apabila surut, discas air tawar lebih kuat berbanding terjahan air masin.



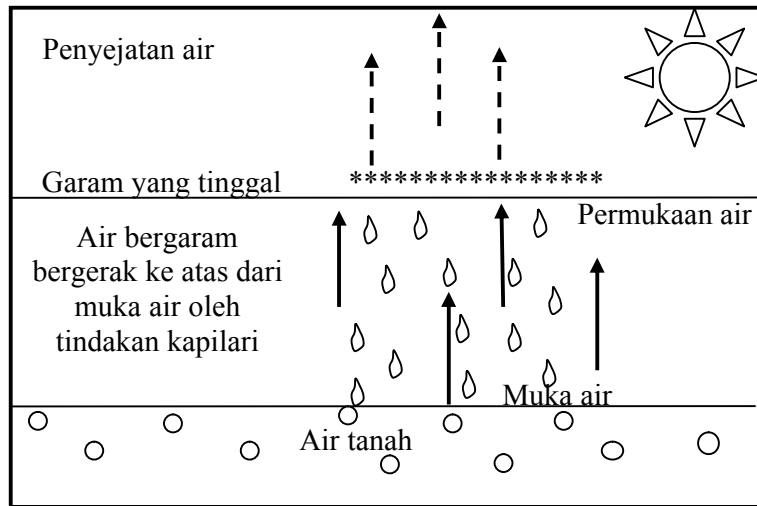
Rajah 1.4: Discas air tanah dan terjahan air laut pada sempadan akuifer-estuari semasa kitaran pasang-surut: (A) pasang tinggi; (B) pasang sederhana; (C) surut.

Bangunan yang dibina di kawasan terjahan air masin menghadapi masalah seperti retak disebabkan resapan air masin. Rajah 1.5 menunjukkan pembentukan

resapan air masin secara umum. Resapan air masin dibekalkan oleh satu atau lebih kawasan cas semula. Air berlebihan dari kapasiti pemegang air dalam tanah bergerak ke bawah zon akar. Pergerakan ini meningkatkan paras muka air setempat dan menyebabkan air tanah mengalir menuruni cerun. Air tanah mengalir melalui lapisan tanah di bawah permukaan atau batuan dasar, dan melarut serta memindahkan garam ke dalam tanah. Air tanah mengalami discas berhampiran permukaan tanah. Jika air tanah berada cukup hampir dengan permukaan tanah, tindakan kapilari dan sejatan akan menarik air masin ke permukaan tanah (Rajah 1.6). Air tersejat akan meninggalkan garam. Garam ini akan berkumpul perlahan-lahan untuk membentuk resapan masin (Wentz, 1997).



Rajah 1.5: Pembentukan resapan air masin.



Rajah 1.6: Penghasilan garam oleh tindakan kapilari dan penyejatan.

Tindakan kapilari ialah kebolehan suatu bahan untuk menarik bahan lain ke dalamnya. Dalam hidrologi, tindakan kapilari menerangkan tarikan molekul-molekul air ke dalam partikel-partikel tanah. Tindakan kapilari bertanggungjawab menggerakkan air tanah dari kawasan tanah yang lembap ke kawasan tanah yang kering. Tindakan kapilari adalah kesan sama yang menyebabkan bahan-bahan porous menyerap bendalir. Kapilariti merupakan daya utama yang membolehkan tanah untuk menahan air dan juga mengatur pergerakannya. Dalam tanah, air bergerak ke atas melalui liang-liang tanah atau ruang-ruang antara partikel-partikel tanah. Ketinggian kenaikan aras air bergantung pada saiz liang. Semakin kecil liang tanah, semakin tinggi kenaikan aras air. Tanah bertekstur halus selalunya mempunyai liang-liang lebih kecil berbanding tanah bertekstur kasar. Tanah bertekstur halus mempunyai lebih kebolehan untuk menakung dan menahan air dalam tanah. Selain daripada itu, kapilariti dalam tanah juga membolehkan pergerakan air ke atas dan mendatar dalam profil tanah dan dapat melawan gerakan ke bawah disebabkan oleh daya graviti. Gerakan ke atas dan mendatar ini berlaku apabila lapisan tanah yang

lebih rendah mempunyai kelembapan yang tinggi berbanding lapisan tanah atas (http://www.ctahr.hawaii.edu/MauiSoil/a_comp03.aspx).

1.5 Kajian terdahulu

Maklumat subpermukaan amat penting sebelum sebarang kerja pembangunan dijalankan di sesuatu kawasan. Maklumat ini dapat diperolehi daripada kajian kejuruteraan atau kajian geofizik. Kajian kejuruteraan melibatkan ujian tanah dan lubang bor yang memberikan tinjauan terus dan lebih tepat. Kajian geofizik terbahagi kepada beberapa kaedah seperti magnet, graviti, radar penusukan bumi (GPR), seismik dan resistiviti. Setiap kaedah mempunyai prinsip yang berbeza dan menjadikannya sesuai digunakan dalam kajian tertentu.

Kaedah magnet bertujuan mengesan batuan atau mineral yang mengandungi bahan-bahan bermagnet, di mana kewujudannya boleh menyebabkan gangguan atau anomali pada keamatan medan magnet bumi (Grant dan West, 1965). Kaedah graviti mengesan ketumpatan batuan yang berlainan. Kaedah radar penusukan bumi (GPR) menggunakan gelombang elektromagnet (EM) yang berfrekuensi tinggi (10 - 1000 MHz) untuk mengesan objek yang tertanam serta lapisan subpermukaan melalui parameter kekonduksian dan pemalar dielektrik. Kaedah seismik biasan bergantung pada perbezaan halaju gelombang seismos tanah atau batuan yang berlainan. Kaedah ini dapat memberi maklumat umum tentang jenis tanah dan kedalaman sempadan lapisan hingga batuan dasar. Ia juga dapat memberikan keadaan dan struktur geologi. Kaedah resistiviti menggunakan beza keupayaan yang dihasilkan apabila arus dialirkan ke dalam tanah. Kaedah ini dapat memberi maklumat mengenai sifat-sifat elektrik di sepanjang garisan tinjauan yang dapat dihubungkan dengan variasi

struktur geologi. Ia juga boleh memetakan pelbagai sifat kimia objek yang dikaji dan jasad berasingan seperti rongga.

Kajian mengesan batu tongkol amat penting untuk dilakukan kerana hanya beberapa kajian sahaja yang telah dilakukan sebelum ini. Nawawi dan Rosli (2007) telah menjalankan tinjauan seismik biasan dan resistiviti 2-D di pelbagai kawasan di Pulau Pinang, Malaysia. Kaedah-kaedah ini telah dibuktikan berjaya dalam memetakan kedalaman dan lokasi batu tongkol serta batuan dasar yang tertanam. Keputusan yang diperolehi dapat digunakan oleh jurutera awam dalam mereka asas cerucuk bagi jalan atau bangunan yang dicadangkan. Rosli et al., 2003 menggunakan kaedah seismik biasan dan resistiviti 2-D untuk mengesan batu tongkol di Pulau Pinang, Malaysia. Tanah runtuh yang berlaku di Paya Terubong, Pulau Pinang melibatkan batu tongkol. Kajian ini dijalankan untuk mengenalpasti kaedah yang paling sesuai untuk mengesan batu tongkol yang tertanam. Hasil kajian telah membuktikan batu tongkol dapat dikesan melalui hubungkait antara kaedah seismik biasan dengan kaedah resistiviti 2-D.

Pelbagai kajian melibatkan kaedah-kaedah geofizik (radar penusukan bumi, graviti, seismik dan resistiviti) telah dijalankan untuk mengesan rongga dan terjahan air masin. Giovanni (2006) telah menjalankan dua kaedah geofizik iaitu radar penusukan bumi (GPR) dan tomografi resistiviti elektrik 3-D (ERT) untuk mengenalpasti rongga dan rekahan di bawah gereja di Botrugno, Itali. Tinjauan GPR menggunakan sistem radar SIR 300 dari GSSI yang dihubungkan dengan antenna 400 MHz dan data diproses menggunakan perisian REFLEX. Tinjauan ERT Dipole-dipole menggunakan meter resistiviti Syscal-R2 dari IRIS dan data diproses menggunakan perisian RES3DINV. Walaupun terdapat pelbagai kelemahan, pemprosesan dan pentafsiran data GPR menunjukkan kehadiran rongga dan rekahan.

Manakala tinjauan ERT 3-D dapat memastikan kehadiran air dalam tanah dan dapat menentukan kedudukan rongga pada kedalaman 2 meter. Dalam kaedah GPR, pentafsiran keputusan tidak selalunya unik dan semakan yang teliti diperlukan untuk menyelesaikan ketaksamaan tersebut. Garisan tinjauan GPR perlu lebih banyak pada sesuatu lokasi untuk mendapatkan semakan yang teliti. Tetapi kajian adalah terhad jika kawasan kajian melibatkan bangunan bersejarah seperti gereja. Selain itu, halangan seperti tiub-tiub besi disebabkan kerja pembaikan menghalang pengambilan data GPR di kawasan ini.

Ahmad Tajuddin dan Che Noorliza (2004) telah mengesan rongga subpermukaan menggunakan kaedah mikrograviti di Kuala Lipis, Pahang, Malaysia. Lubang bor yang dikorek lebih awal mendapati kemungkinan terdapatnya rongga. Kajian ini dijalankan untuk membuktikan rongga dapat dikesan oleh kaedah graviti dengan menggunakan gravimeter LaCoste-Romberg Model D. Keputusan menunjukkan kemungkinan terdapat rongga di empat lokasi pada kedalaman dari 3.77 hingga 6.50 meter. Data lapangan graviti disongsangkan menggunakan kaedah separa lebar. Rongga mungkin terisi dengan sedimen lembap. Kedalaman rongga yang ditafsir daripada lubang bor adalah lebih cetek. Keberkesanan kaedah graviti untuk mengesan rongga bergantung kepada kontras ketumpatan antara bahan yang mengisi rongga dengan bahan di sekelilingnya. Kemungkinan besar hanya rongga berisi udara dapat menghasilkan tindak balas pada anomali graviti. Kaedah ini tidak sesuai digunakan untuk mengesan rongga berisi air atau sedimen. Di dalam tafsiran kaedah graviti, data yang sama mempunyai pelbagai kesimpulan. Anggapan utama yang digunakan ialah nilai graviti rendah hanya disebabkan oleh rongga. Tetapi dalam keadaan sebenar nilai graviti rendah juga mungkin disebabkan oleh faktor lain seperti sistem perlapisan. Selain itu, kaedah ini tidak dapat mengesan saiz dan lokasi

rongga dengan terperinci. Sekurang-kurangnya satu lubang bor perlu dikorek untuk memastikan kewujudan rongga dan mengesahkan bahan isiannya jika menggunakan kaedah graviti.

Abdul Rahim Samsudin et al., 1998 telah menjalankan tinjauan resistiviti geoelektrik dan seismik untuk pengimejan struktur subpermukaan batu kapur cetek di Batu Caves, Kuala Lumpur, Malaysia. Tinjauan resistiviti 2-D menggunakan ABEM Terrameter SAS 300C dan susunatur Wenner. Data diproses menggunakan perisian RES2DINV. Kaedah ini telah berjaya mengesan kehadiran saluran tertanam yang melintasi kawasan kajian. Selain itu, kaedah ini juga dapat mengesan ‘pinnacle’ pada batuan dasar dan rongga yang terisi sedimen aluvium. Tinjauan seismik menggunakan seismograf ABEM Terraloc 24-channel dan ‘sledgehammer’ sebagai punca tenaga. Data diproses menggunakan perisian Biasan dan Eavesdropper. Kedua-dua kaedah seismik ini berjaya memberi maklumat kedalaman sebenar batuan dasar, profil geologi subpermukaan dan lokasi rongga serta saluran yang tertanam.

Cosentino et al., 2007 telah menjalankan kajian ke atas akuifer di South-Western Sicily, Itali dengan menggunakan teknik geokimia, hidro-geologi dan geofizik. Kajian awal melibatkan pengukuran konduktiviti air dan kandungan klorida di dalamnya untuk mengesan baji terjahan air masin ke dalam akuifer pantai. Kemudian, tinjauan duga dalam elektromagnetik dijalankan di kawasan bermasalah berdasarkan log telaga untuk membina model 3-D taburan resistiviti dalam akuifer. Hal ini membolehkan arah terjahan yang utama dan corak dasar akuifer dikenal pasti. Selain itu, data diambil menggunakan kaedah geofizik seperti tomografi resistiviti elektrik (ERT), pengutuban teraruh, elektromagnetik frekuensi rendah (TDEM) dan seismik. Kaedah seismik jelas menunjukkan variasi mendatar antara air tawar dan air masin seperti beban dan dasar berlempung pada akuifer. Dalam kaedah geoelektrik,

susunatur-susunatur (Wenner, Wenner-Schlumberger, Dipole-dipole dan Grid linear) memberikan pengukuran yang banyak untuk setiap arus dan seterusnya mengurangkan masa pengambilan data. Tetapi susunatur Wenner menghasilkan keputusan tidak baik untuk zon terjahan kerana tidak dapat menentukan kedalaman dasar yang sebenar. Walaubagaimanapun susunatur Dipole-dipole dan Grid linear dapat mengenalpasti sentuhan antara dasar lempung dan akuifer dengan baik. Pengukuran pengutuban teraruh pula menghasilkan tafsiran yang lebih sukar kerana kebolehan casnya tidak sesuai dengan kehadiran air tetapi lebih berhubung dengan kandungan lempung. Daripada kesemua kaedah yang digunakan kajian TDEM dan geoelektrik merupakan kaedah asas dalam kajian terjahan air masin.

Abdul Nassir et al., 2000 telah memetakan terjahan air masin di Yan, Kedah, Malaysia dengan menggunakan tinjauan pengimejan geoelektrik. Tinjauan ini menggunakan meter resistiviti GEOPULSETM Campus dengan susunatur Wenner dan Wenner-Schlumberger. Daripada kajian ini, zon air masin, zon air tawar dan sempadan antara kedua-dua zon dapat dipetakan dengan jelas. Keputusan yang diperolehi adalah sama dengan maklumat lubang bor dan tinjauan resistiviti duga dalam yang telah dijalankan sebelum ini. Abdul Rahim Samsudin dan Abdul Ghani (2002) telah menggunakan pelbagai pendekatan untuk menguruskan terjahan air masin di kawasan pantai. Empat komponen dalam pendekatan tersebut ialah pengukuran, pengawalan, permodelan dan pengubahsuaian. Aplikasi pengukuran geofizik amat diperlukan untuk menyediakan data ketumpatan yang cukup dalam peringkat awal program tersebut. Hal ini juga penting sebagai panduan untuk lokasi telaga baru. Kaedah-kaedah geofizik yang digunakan ialah seismik, graviti dan geoelektrik. Kaedah-kaedah tersebut berjaya mengesan dan memetakan sempadan air masin.

1.6 Kepentingan kajian

Setiap kaedah mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Kaedah lubang bor memberikan maklumat yang cukup lengkap dan tepat pada lokasi tertentu. Walaubagaimanapun kaedah ini menjadi sangat mahal dan mengambil masa yang panjang apabila melibatkan kawasan yang luas. Ini kerana lebih banyak lubang bor diperlukan untuk meliputi keseluruhan kawasan. Kos bagi satu lubang bor bernilai ribuan ringgit Malaysia bergantung kepada kedalaman yang dikehendaki. Kaedah geofizik merupakan kaedah yang tidak memusnahkan persekitaran dan dapat memberikan maklumat subpermukaan yang lebih luas dalam masa yang singkat. Kos untuk satu garisan tinjauan lebih murah berbanding kos untuk satu lubang bor manakala keputusan geofizik lebih cepat diperolehi berbanding keputusan lubang bor. Perbezaan halaju yang ketara antara lapisan tanah dengan batu tongkol telah menjadikan kaedah seismik biasan paling sesuai digunakan untuk mengesan batu tongkol (Rosli, 2003). Kaedah resistiviti 2-D digunakan bersama dalam kajian ini kerana kaedah seismik biasan tidak dapat menganggarkan bentuk batu tongkol. Kaedah ini dapat menusuk ke dalam bumi dengan lebih dalam apabila jarak antara elektrod arus ditambah walaupun di kawasan lempung. Selain itu, kaedah ini juga menghasilkan kurang hingar dan mengambil masa lebih singkat berbanding kaedah-kaedah lain. Perbezaan resistiviti antara rongga kosong dengan batuan dasar (batu kapur) di sekelilingnya menjadikan kaedah resistiviti 2-D digunakan secara meluas (Gad El-Qady et al., 2005). Kaedah resistiviti 2-D juga sesuai digunakan untuk mengesan terjahan air masin disebabkan oleh kebolehan semulajadinya untuk mengesan perubahan konduktiviti elektrik dan kandungan bahan terlarut dalam air (Abdul Nassir et al., 2000). Ini memberikan nilai perbezaan resistiviti ketara antara

air tawar dan air masin. Kajian ini melibatkan kaedah resistiviti 2-D dengan menggunakan susunatur Pole-dipole dan seismik biasan.

1.7 Objektif kajian

Kawasan kajian adalah kawasan Tanjung Tokong, Pulau Pinang dan kawasan Gunung Keriang, Kedah. Kajian dijalankan dengan menggunakan kaedah resistiviti 2-D dan seismik biasan. Objektif kajian ini adalah;

- i. Untuk mendapatkan maklumat subpermukaan seperti kedalaman batuan dasar, batu tongkol, struktur subpermukaan dan terjahan air masin dengan menggunakan kaedah resistiviti 2-D dan seismik biasan.
- ii. Untuk mengesan rongga, ‘pinnacle’ dan rekahan yang terbentuk di kawasan batu kapur dengan menggunakan kaedah resistiviti 2-D.
- iii. Membuat hubungkait antara kaedah geofizik (seismik dan resistiviti 2-D) dengan lubang bor.

1.8 Ketulenan kajian

Kajian ini merupakan kajian geofizik pertama dijalankan di kawasan tanah tambak sekitar Pulau Pinang kerana sebelum ini pembinaan di tanah tambak tidak dijalankan tinjauan geofizik bagi mengenalpasti masalah yang akan memberi kesan terhadap penanaman cerucuk. Selain itu, kajian geofizik di kawasan batu kapur Gunung Keriang merupakan kajian terawal diadakan kerana kebanyakan kajian sebelum ini lebih tertumpu di sekitar Selangor, Kuala Lumpur dan Perak.

1.9 Skop penyelidikan

Kerja-kerja penyelidikan ini melibatkan dua kaedah geofizik iaitu resistiviti 2-D dan seismik biasan. Kaedah resistiviti 2-D menggunakan alat ABEM Terrameter SAS 4000 bersama pemilih elektrod ABEM ES106-4C. Data diproses menggunakan perisian RES2DINV. Kaedah seismik biasan menggunakan ABEM Terraloc MK6 dan data diproses menggunakan perisian Firstpix dan Gremix. Bagi setiap kaedah, keputusannya akan dihubungkan antara satu sama lain. Akhir sekali semua keputusan penyelidikan geofizik ini akan dihubungkan juga dengan keputusan lubang bor yang terlibat.

1.10 Susunan tesis

Secara ringkasnya, kandungan tesis ini disusun seperti berikut:

- Bab 2 membincangkan kajian kesusasteraan bagi kaedah resistiviti 2-D dan seismik biasan. Kajian tersebut melibatkan prinsip dan teori bagi setiap kaedah yang digunakan dalam tinjauan ini.
- Bab 3 membincangkan tentang kawasan kajian, perolehan dan pemprosesan data. Dalam kawasan kajian, lokasi serta geologi bagi Tanjung Tokong, Pulau Pinang dan Gunung Keriang, Kedah dibincangkan. Bab ini juga membincangkan perolehan data, peralatan, prinsip pengukuran, tatacara di lapangan dan pemprosesan data. Terdapat juga kaedah lubang bor dibincangkan di akhir bab ini.
- Bab 4 membincangkan keputusan resistiviti 2-D dan seismik biasan yang diperolehi. Terdapat juga perbandingan antara keputusan daripada data geofizik dengan rekod lubang bor.

- Akhir sekali dalam bab 5, kesimpulan berdasarkan keputusan yang diperolehi dibincangkan. Terdapat juga beberapa cadangan untuk dilakukan pada masa hadapan.

1.11 Ringkasan

Bab 1 membincangkan masalah-masalah kejuruteraan dan persekitaran yang sering berlaku iaitu batu tongkol, rongga dan terjahan air masin. Ini termasuk punca masalah-masalah tersebut berlaku dan proses pembentukannya. Kemudian kajian-kajian terdahulu yang melibatkan masalah-masalah tersebut dengan menggunakan pelbagai kaedah seperti radar penusukan bumi, graviti, seismik dan resistiviti dibincangkan. Segala kelemahan dalam kajian terdahulu yang menjadi kepentingan dalam kajian ini turut dibincangkan. Akhir sekali objektif dan skop penyelidikan yang telah digariskan turut dibincangkan.

BAB 2

KAJIAN KESUSASTERAAN

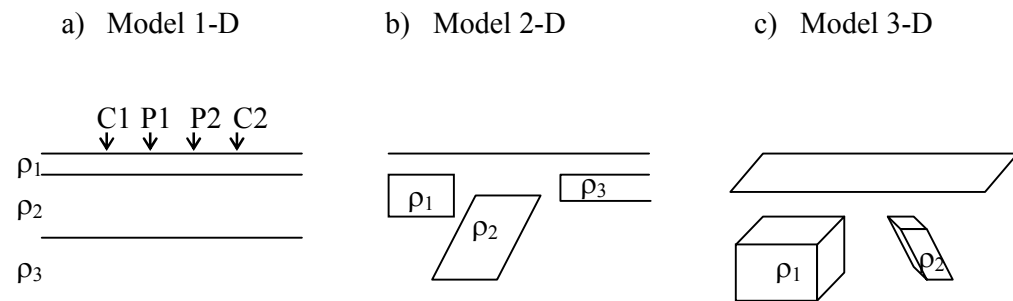
2.1 Pengenalan

Maklumat tentang subpermukaan amat penting bagi menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang kejuruteraan dan persekitaran. Biasanya maklumat ini didapati daripada rekod lubang bor. Kaedah lubang bor melibatkan kos yang tinggi dan mengambil masa yang lama. Kini kaedah-kaedah geofizik lebih banyak digunakan kerana dapat menjimatkan kos dan masa serta memberikan keputusan yang lebih meluas. Kaedah-kaedah geofizik terbahagi kepada kaedah seismik, resistiviti, magnetik, graviti dan radar penusukan bumi (GPR). Setiap kaedah memberikan parameter berlainan seperti halaju gelombang dalam medium, kerintangan tanah, kemagnetan, ketumpatan dan kedalaman subpermukaan. Kaedah-kaedah yang digunakan dalam kajian ini ialah kaedah resistiviti 2-Dimensi (2-D) dan seismik biasan.

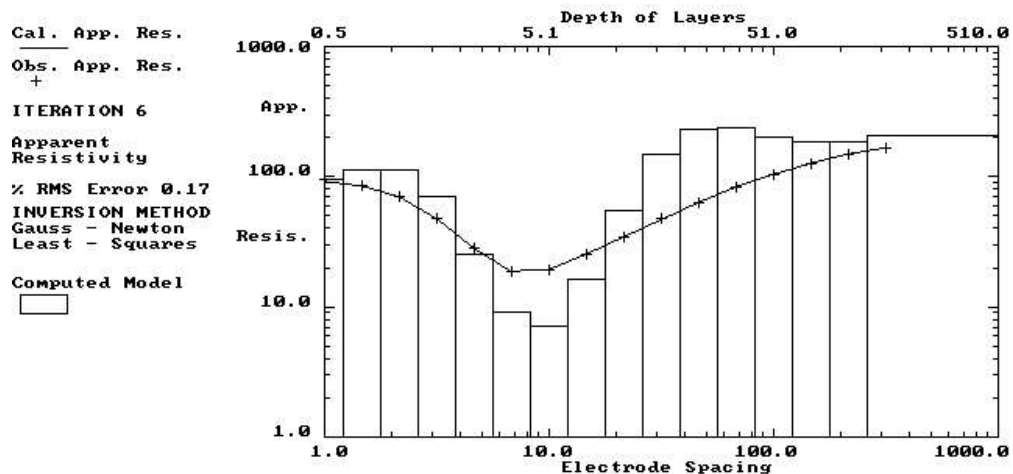
2.2 Resistiviti 2-Dimensi (2-D)

Kaedah resistiviti merupakan kaedah elektrik dengan menggunakan bekalan arus elektrik yang dialirkan ke dalam tanah melalui susunatur tertentu. Melalui tindak balas bumi terhadap pengaliran elektrik, perubahan arus elektrik yang melalui subpermukaan dapat ditafsirkan apabila nilai resistiviti dikira daripada data-data yang diperolehi.

Kaedah resistiviti bermula dalam tahun 1920-an oleh adik-beradik Schlumberger, selepas hampir 60 tahun tinjauan duga dalam digunakan untuk tafsiran kuantitatif (Koefoed, 1979). Dalam kaedah ini, titik tengah susunatur elektrod ditetapkan tetapi jarak antara elektrod ditambah. Nilai resistiviti ketara yang diukur diplotkan di atas kertas graf log-log. Data tinjauan ini ditafsirkan dengan menganggap subpermukaan terdiri daripada lapisan-lapisan mendatar. Oleh itu, perubahan resistiviti subpermukaan berubah hanya dengan kedalaman, tetapi tidak berubah dalam arah mendatar. Model subpermukaan satu dimensi digunakan untuk mentafsirkan pengukuran (Rajah 2.1a). Rajah 2.2 menunjukkan contoh data daripada tinjauan duga dalam dan model tafsiran.



Rajah 2.1: Tiga model berbeza yang digunakan dalam pentafsiran ukuran resistiviti.



Rajah 2.2: Model 1-D yang digunakan dalam pentafsiran data duga dalam untuk susunatur Wenner (Loke, 1999).